

DIMENSIONNEMENT ET DUREE DE VIE DES ROULEMENTS (*BEARINGS*)

1. DUREE DE VIE. (*BEARING LIFE*)

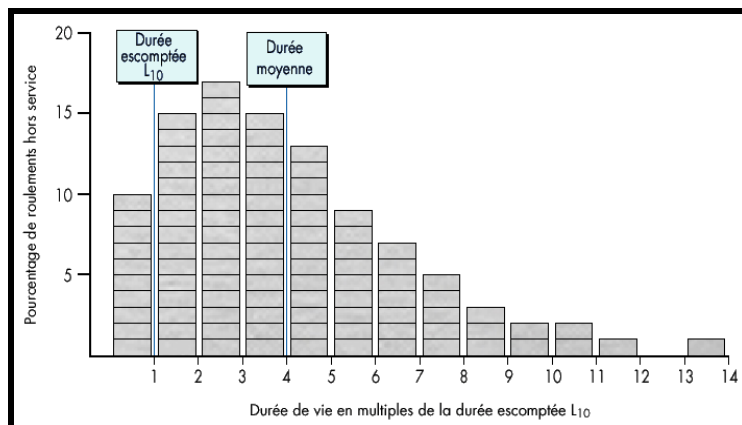
On appelle durée de vie d'un roulement, le nombre de tours (ou le nombre d'heures de fonctionnement à vitesse constante) que celui-ci peut effectuer avant l'apparition des premiers signes de détérioration par fatigue (écaillage) sur l'une des bagues ou l'un des éléments roulants.



Exemples de mode de ruine par écaillage

Cependant, des expérimentations en laboratoire montrent que des roulements identiques, fonctionnant dans les mêmes conditions (même machine d'essai, même montage, même charge,...) n'ont pas la même durée de vie.

Il est de ce fait nécessaire de baser le calcul de durée sur l'évaluation statistique d'un grand nombre de roulements, soumis aux mêmes conditions de fonctionnement. C'est pour cela que l'on définit la *Durée de vie nominale* L_{10} du roulement. Celle-ci correspond à la durée de vie minimale atteinte par 90 % des roulements d'une population prise dans un même lot de fabrication, lors d'un même essai.



Histogramme de la durée théorique de 100 roulements apparemment identiques soumis à des conditions de fonctionnement similaires.

2. METHODE DE CALCUL.

2.1. Durée de vie nominale L_{10}

L'expérience a permis de mettre en place une relation liant durée de vie et charge pour les roulements

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n \quad \text{ou} \quad L_{10h} = \frac{10^6}{60.N} \left(\frac{C}{P}\right)^n$$

L_{10} : Durée de vie nominale en millions de tours.

L_{10h} : Durée de vie nominale en heures de fonctionnement

N : vitesse de rotation (en tr/mn)

C : Constante pour le roulement étudié, nommée Charge dynamique de base (en Newton) (*Catalog load rating*).

P : Charge radiale dynamique équivalente appliquée au roulement (en Newton) (*dynamic equivalent radial load*).

n : constante dépendant de la nature du contact : **3 ponctuel** (*ball bearings*), **10/3 linéique** (*roller bearings*).

La durée de vie nominale est également nommée L_{10} en "mémoire" au 10 % de roulements qui sont défaillant avant d'atteindre sa valeur. La charge dynamique de base C est la charge à appliquer au roulement dans les conditions de l'expérience, pour que celui-ci atteigne une durée de vie de 1 million de tours.

Exemple : Déterminer un roulement rigide à une rangée de billes devant tourner à 1000 tr/mn, sous une charge radiale constante de 3000 N, ayant une durée de vie nominale de 20 000 heures de fonctionnement.

$$n = 3$$

$$P = 3000 \text{ N}$$

$$L_{10} = 20\,000 \cdot 1000 \cdot 60 = 1\,200 \text{ Mtours}$$

$$C = P \cdot L^{1/n} = 31\,900 \text{ N}$$

D'où le choix du roulement à l'aide d'un catalogue constructeur en fonction des diamètres de l'arbre et de l'alésage envisageables.

3. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT PARTICULIERES.

Ce que nous venons de voir n'est vrai, que si l'on se trouve dans des conditions de fonctionnement similaires à ceux réalisées en laboratoire : avec des charges constantes, des vitesses constantes, une fiabilité de 90 %, des conditions de fonctionnement (température et donc lubrification) normales.

Dans la réalité, ces conditions ne sont pas toujours respectées, cela impose l'utilisation de coefficients de corrections.

Ces coefficients de corrections sont brièvement présentés ici car leur prise en compte précise dans les calculs est hors du programme de 2^{ème} année .

3.1. Influence de la température de fonctionnement.

La température augmentant, la dureté superficielle du matériau diminue, cela se traduit par une diminution de la capacité de charge du roulement.

Pour en tenir compte, les constructeurs corrigent la charge dynamique de base C par un coefficient δ_θ approprié du **Tableau 1**.

$$C_\theta = \delta_\theta \cdot C$$

Ne pas confondre C_θ et C_0

θ °C	$\leq 125^\circ$	150°	175°	200°	225°	250°	275°	300°
δ_θ	1	0,96	0,92	0,88	0,82	0,75	0,68	0,60

Tableau 1 : Coefficient correctif de température

3.2. Durée de vie corrigée

L'emploi de la formule de durée est approprié dans tous les cas d'applications classiques, où la durée nominale L_{10} prise en considération est basée sur l'expérience et tient compte, par conséquent, de facteurs non explicités tels que la lubrification.

Afin de tenir compte de conditions de fonctionnement particulières on utilise la relation adoptée par ISO en 1977 :

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10}$$

L_{na} : durée corrigée, millions de tours (l'indice n représente la différence entre 100 % et la fiabilité considérée)

a_1 : un facteur de correction relatif à la fiabilité (*reliability*)

a_2 : un facteur de correction relatif à la matière (*bearing material*)

a_3 : un facteur de correction relatif aux conditions de fonctionnement

4. CHARGE EQUIVALENTE

Pour fonctionner de façon satisfaisante, un roulement doit toujours être soumis à une charge minimale donnée.

Une règle générale pratique indique que des charges correspondant à $0,02 \cdot C$ doivent s'exercer sur les roulements à rouleaux, et $0,01 \cdot C$ sur les roulements à billes. La présence de cette charge est d'autant plus nécessaire que le roulement est soumis à de fortes accélérations et que les vitesses avoisinent ou dépassent 75 % des vitesses de base mentionnées dans les catalogues constructeurs.

4.1. Calcul dynamique

Etudions maintenant le cas où P est quelconque, c'est-à-dire pas nécessairement radiale pour les roulements, ou axiale pour les butées.

Comme précédemment, nous allons être amené à déterminer une charge équivalente P_{eq} . D'une façon générale :

$$P_{\text{eq}} = X \cdot Fr + Y \cdot Fa$$

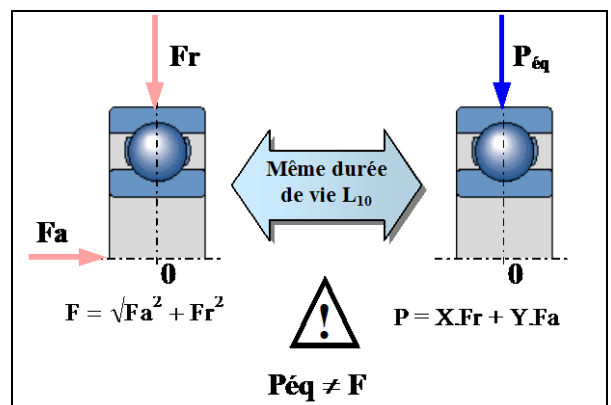
P_{eq} : Charge dynamique équivalente (*dynamic equivalent radial load*)

Fr : Composante radiale de la charge (*radial load*).

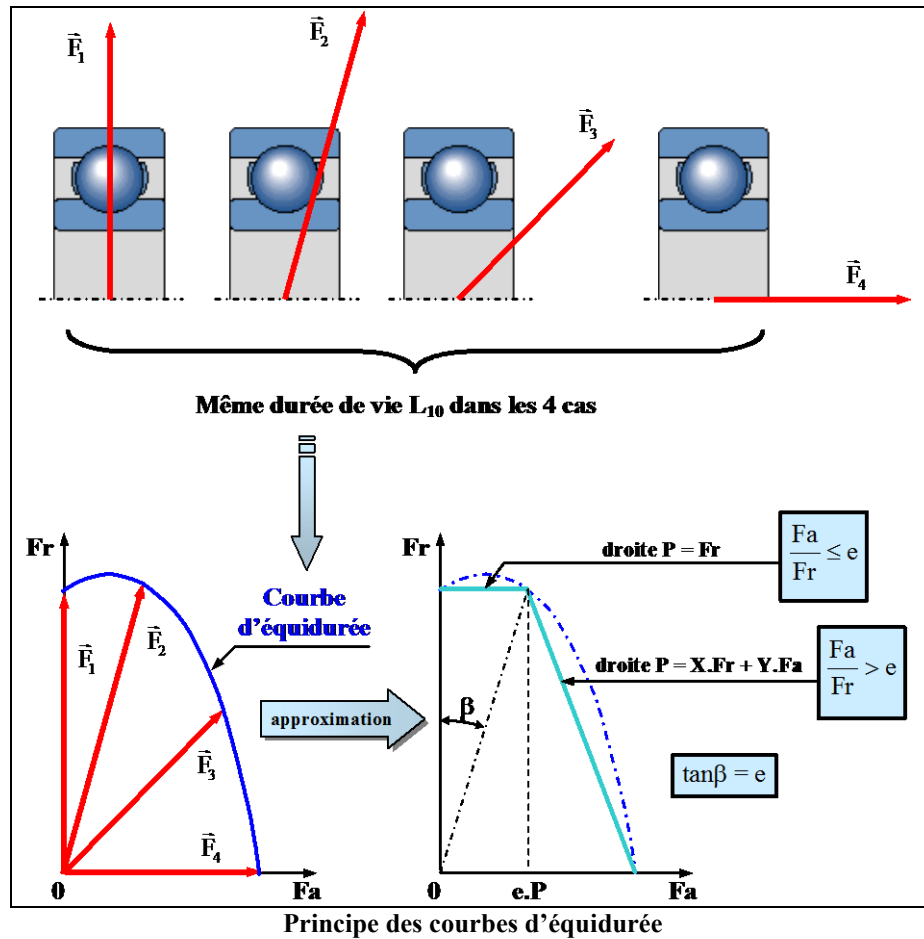
Fa : Composante axiale de la charge (*thrust load*).

X : Coefficient radial du roulement.

Y : Coefficient axial du roulement.



Le graphique suivant représente l'ensemble des charges quelconques qui confèrent au roulement la même durée de vie. Ces courbes sont essentiellement expérimentales.



L'extrémité des vecteurs OF_i associés à chacune des charges décrit la *courbe d'équidurée* du roulement.

Pratiquement, et parce que jusqu'à ces dernières années, l'outil informatique était encore peu répandu dans les bureaux d'étude, on remplace cette courbe par deux segments qui minorent les capacités réelles du roulement. Ces segments mettent en place :

- L'angle β qui permet de définir le paramètre e tel que : $\tan\beta = e$
- Les coefficients X et Y tels que :
 $P_{eq} = X.Fr + Y.Fa$

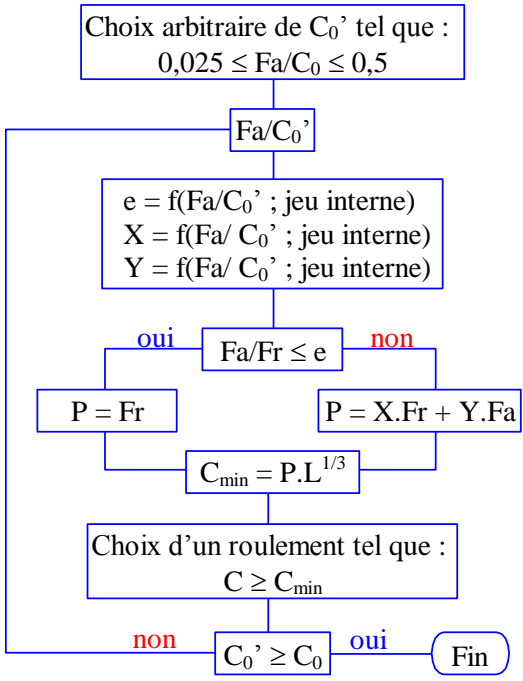
L'étude des rapports Fa/Fr et Fa/C_0 par rapport à e permet à l'aide des catalogues de déterminer les valeurs de X et Y .

Nous allons traiter le calcul de P_{eq} dans les cas suivants :

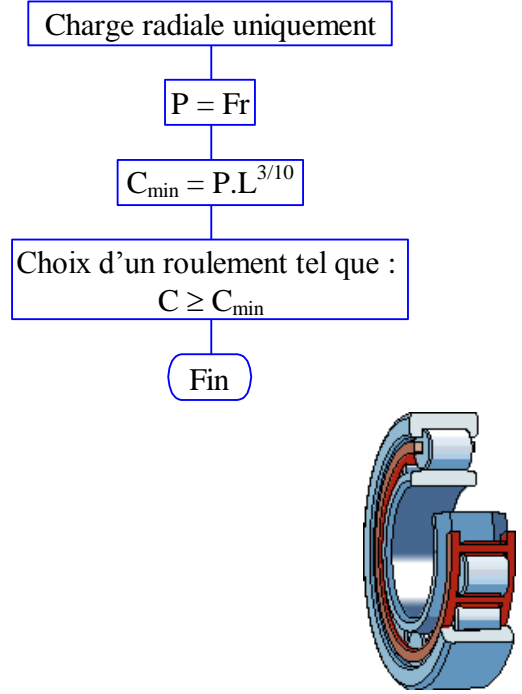
- Roulement rigide à billes.
- Roulement à rouleaux cylindriques.
- Roulement à rotule sur rouleaux ou sur billes.
- Butée à bille simple effet.
- Butée à rotule sur rouleaux.

Le calcul des roulements à contact oblique (billes ou rouleaux) est hors du programme de 2^{ème} année.

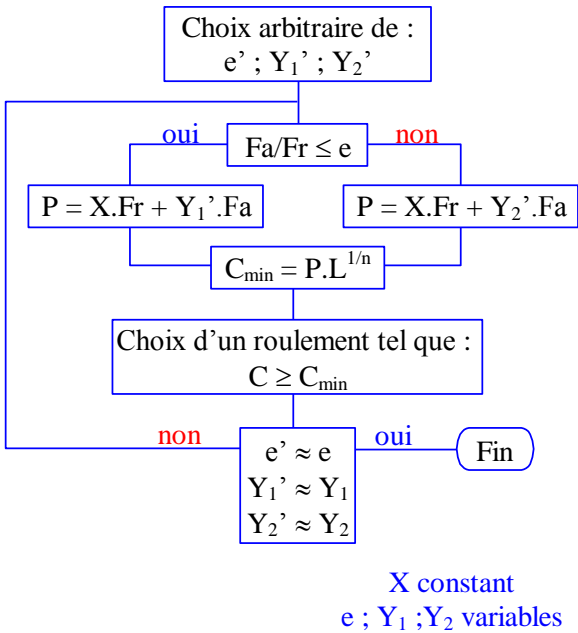
Roulement rigide à billes



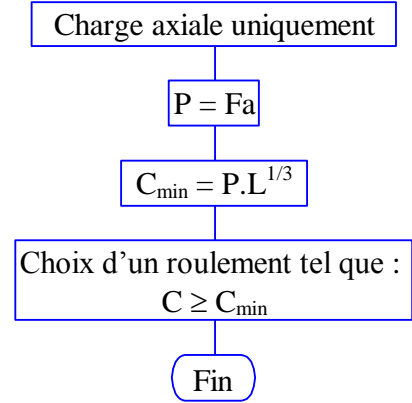
Roulement à rouleaux cylindriques



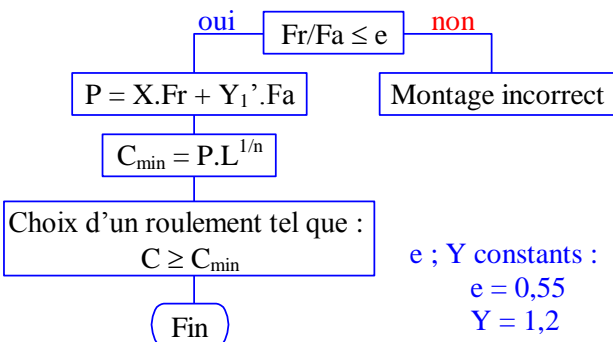
Roulement à rotule sur rouleaux ou sur billes



Butée à bille simple effet

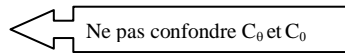


Butée à rotule sur rouleaux



4.2. Calcul statique

4.2.1. Charge statique de base C_0



Les catalogues donnent en plus de la charge dynamique de base C , une charge statique de base C_0 . Celle-ci est utilisée pour le calcul de roulements, soit à l'arrêt, soit en rotation à basse vitesse ou animés de faibles mouvements d'oscillation. Elle doit aussi être prise en considération lorsque des chocs importants de courte durée s'exercent sur un roulement en rotation.

4.2.2. Charge statique équivalente

Lorsque la charge agissant sur un roulement ne correspond pas aux conditions définies pour la charge statique de base P_0 , il est nécessaire de calculer une charge statique équivalente, charge fictive provoquant les mêmes déformations permanentes que la charge réelle. On l'obtient à l'aide de la formule générale :

$$P_0 = X_0 Fr + Y_0 Fa$$

Dans le cas des roulements rigides à billes à une rangée : $P_0 = \text{Max} (Fr ; 0.6 Fr + 0.5 Fa)$

Pour le calcul de P_0 , il faut retenir la charge maximale qui puisse se produire et introduire ses composantes radiale et axiale. Si une charge statique agit sur un roulement dans différentes directions, l'intensité de ces composantes variera. Dans de tels cas, il convient d'utiliser les composantes de la charge donnant la plus grande valeur de charge statique équivalente.

4.3. Coefficient de sécurité statique

La formule suivante donne la charge statique de base C_0 nécessaire :

$$C_0 = s_0 P_0$$

C_0 : charge statique de base, N

P_0 : charge statique équivalente, N

s_0 : coefficient de sécurité statique

Des valeurs de principe basées sur l'expérience sont données dans le **tableau ci-dessous** pour le coefficient de sécurité statique s_0 en ce qui concerne les roulements à billes ou à rouleaux, dans différents modes de fonctionnement et avec différentes exigences touchant la régularité de rotation.

Aux températures élevées la capacité de charge statique des roulements est réduite ; des informations complémentaires peuvent être fournies sur demande.

Pour les butées à rotule sur rouleaux il est recommandé d'utiliser $s_0 \geq 4$.

Mode de fonctionnement	Roulements en rotation						Roulements à l'arrêt	
	Exigences de silence de fonctionnement						Rlt billes	Rlt à rouleaux
	Faibles		Normales		élevées			
Rlt billes	Rlt à rouleaux	Rlt billes	Rlt à rouleaux	Rlt billes	Rlt à rouleaux	Rlt billes	Rlt à rouleaux	
Régulier sans vibrations	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Chocs Prononcés¹⁾	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

1) Lorsque l'intensité de la charge n'est pas connue, utiliser des valeurs de s_0 au moins aussi élevées que celles indiquées ci-dessus. Si l'intensité des chocs est connue de façon précise, des valeurs de s_0 plus faibles peuvent être appliquées.

Valeur de principe pour le coefficient de sécurité statique s_0